NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Henri PELLAT,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1902

INTRODUCTION.

Les recherches de M. Pellat peuvent être réparties en trois groupes principaux : les expériences concernant la théorie de la pile, l'étude des diélectriques, les recherches sur la matière radiante des ampoules à gaz raréfiés.

En premier lieu, M. Pellat a démontré d'une façon définitive l'existence d'une différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux au contact, ce qui était loin d'être généralement admis au moment où ont paru scs expériences, et a établi les principales lois qui régissent ce phénomène. Mais ces recherches ne suffisaient pas pour établir que les métaux eux-mêmes présentent une différence de potentiel quand ils sont au contact, à cause de l'influence des gaz qui les entourent. M. Pellat, en s'appuyant sur les phénomènes de polarisation des électrodes ou sur les phénomènes électro-capillaires, découverts par M. Lippmann, est parvenu ensuite à montrer l'existence de cctte différence de potentiel. Il a établi que celle-ci est de l'ordre de grandeur du volt, et il a donné deux méthodes différentes, mais concordantes, pour la mesurer. Ainsi se trouve tranchée une question restée pendante depuis Volta. En outre, plusieurs lois concernant les piles ou la polarisation des électrodes ont été le résultat de ces recherches.

C'est aussi à l'occasion des travaux précédents que l'auteur a découvert un phénomène nouveau : la production de substances volatiles par les métaux à la température ordinaire, jouissant de la propriété de se déposer sur la surface des corps à proximité ct d'en modifier la nature.

Le travail de M. Pellat sur les diélectriques comprend une partie théorique et une partie expérimentale. Dans un mémoire étendu, il a montré comment on pouvait se passer des lois de Coulomb, inapplicables quand plusieurs diélectriques coexistent dans le champ électrique, pour établir toute l'Électrostatique, en s'appuyant uniquement sur quelques expériences simples et précises. Indépendamment de toute hypothèse, l'auteur a ainsi construit une théorie électrostatique applicable à tous les cas, quels que soient les diélectriques qui coexistent dans le champ. Les formules établies dans ce Mémoire l'ont conduit à démontrer sans hypothèse que les diélectriques non électrisés sont soumis à des forces dans un champ électrique. Des expériences de vérification ont été faites, soit sur des diélectriques solides, soit sur des diélectriques liquides; ainsi était démontrée expérimentalement la parfaite exactitude des relations établies théoriquement par l'auteur.

M. Pellat a réussi à mettre en évidence par une expérience directe une polarisation qui se développe dans un diélectrique soumis à l'action d'un champ électrique. Cette base expérimentale a été l'origine d'un Mémoire où il explique, non seulement au point de vue qualitatif, mais aussi au point de vue quantitatif, un assez grand nombre de phénomènes, restés fort obscurs jusqu'alors, concernant ce qu'on a appelé parfois les *diélectriques imparfaits*.

Toutes ces recherches nécessitant la mesure des pouvoirs inducteurs spécifiques, M. Pellat a été amené à imaginer un appareil qui permet de faire commodément cette mesure avec une très grande précision.

Les études plus récentes de M. Pellat ont porté sur l'action des champs magnétiques intenses sur les flux cathodiques et anodiques des ampoules à gaz raréfiés. Ces études lui ont fait découvrir plusieurs phénomènes nouveaux que rien ne pouvait faire prévoir : la matière radiante éprouve une extrême difficulté à couper les lignes de forces d'un champ magnétique intense et, au contraire, suit avec la plus grande facilité les lignes de forces.

Ces expériences paraissent jeter un jour nouveau sur ce qui se passe dans les flux radiants. Elles sont poursuivies en ce moment et semblent devoir fournir encore plusieurs résultats intéressants.

Outre ces recherches d'ensemble, on trouvera analysés dans cette Notice un assez grand nombre d'autres travaux, parmi lesquels on peut plus particulièrement citer : la *Cause de l'électrisation des nuages orageux*, l'*Application du principe de Carnot aux réactions endothermiques*, l'*Électrodynamomètre absolu*. On y trouvera aussi la liste des Ouvrages publiés par l'auteur.

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Henri PELLAT,

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

1871. Élève de l'École Normale supérieure.
1873. Licencié ès Sciences mathématiques; Licencié ès Sciences physiques.
1874. Agrégé des Sciences physiques et naturelles.
1874. Physicien adjoint à l'Observatoire de Paris.
1876. Professeur au collège Rollin.
1880. Professeur au lycée Louis-le-Grand.
1880. Professeur à la Maison d'éducation de la Légion d'Honneur de Saint-Denis.
1881. Docteur ès Sciences physiques.
1881. Membre de la Chancellerie du Congrès international des Électriciens.
1881. Membre du Jury de l'Exposition d'Électricité.
1884. Chevalier de la Légion d'honneur.
1885. Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Paris.
1886. Président de la Société philomathique.
1890. Officier de l'Instruction publique.
1891. Secrétaire général de la Société française de Physique.
1893. Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.
1896. Vice-Président de la Société internationale des Électriciens.
1899. Professeur titulaire à la Faculté des Sciences de Paris.
1900. Rapporteur du Jury international de la Classe 15 (Instruments de précision) à l'Exposition universelle.
1901. Président de la Société française de Physique.

ANALYSE DES TRAVAUX DE PHYSIQUE.

MISE EN ÉVIDENCE DE PHÉNOMÈNES NOUVEAUX NE POUVANT ÊTRE PREVUS PAR LES PHÉNOMÈNES CONNUS ANTÉRIEUREMENT.

Influence d'un métal sur la nature de la surface d'un corps placé à petite distance.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIV, 1882, p. 1247. — *Journal de Physique*, t. I, 2ᵉ série, 1882, p. 416. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXIII, 1896, p. 104; t. CXXVI, 1898, p. 1338.)

Au cours des recherches que j'ai faites sur la différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux en contact, j'ai reconnu l'existence d'un phénomène curieux : une surface métallique A étant placée très près d'une autre surface métallique parallèle B, mais non au contact, modifie la nature chimique de la surface de B, ce qui était révélé par la variation de la différence de potentiel apparente entre le métal B ainsi modifié et un autre métal non modifié.

Presque tous les métaux à des degrés divers se sont montrés capables de modifier par leur présence la nature de la surface d'un métal voisin : le plomb et le fer sont les plus actifs; le zinc seul parmi les métaux étudiés n'a produit aucun effet appréciable.

J'ai constaté depuis que l'acier et le plomb placés très longtemps à une très petite distance d'une plaque photographique au gélatinobromure, dans une obscurité absolue, impressionnent la plaque de façon à donner une image au moment où l'on révèle celle-ci par les procédés ordinaires.

Après ls découverte de M. Becquerel sur les rayons uraniques, on pouvait se demander si l'impression était due à des rayons de ce genre. J'ai constaté que la cause qui produisait l'action photographique dans le cas du fer ne traversait pas une lamelle de verre extrêmement mince.

Il faut conclure de ces expériences que les métaux émettent à la température ordinaire des substances volatiles capables de se déposer sur les corps voisins et d'en modifier chimiquement la surface.

Polarisation réelle des diélectriques placés dans un champ électrique.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXVIII, 1889, p. 1312. — *Journal de Physique*, t. IX, 3e série, 1900, p. 313. — *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, 7e série, 1899.)

J'ai constaté par une expérience directe l'existence d'une polarisation réelle acquise par un diélectrique placé pendant quelques instants dans un champ électrique (M. Bouty avait admis à titre d'hypothèse que la polarisation fictive, qui sert dans certaines théories à expliquer le pouvoir inducteur spécifique, pouvait présenter un résidu).

L'expérience que j'ai faite pour cela a consisté à séparer en deux un bloc d'ébonite après l'avoir soumis à l'action du champ et à constater : 1° que la charge totale d'une des deux parties était nulle ; 2° que chacune des deux faces de cette partie était recouverte d'une couche d'électricité, les couches étant égales et de signes contraires, ce qui est la définition même de la polarisation. Cette polarisation réelle diminue avec le temps en dehors du champ électrique et finit par disparaître.

J'indique sommairement plus loin les nombreuses conséquences de ce fait nouveau.

Frottement anisotrope éprouvé par la matière radiante dans un champ magnétique intense.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXXIII, 1901, p. 1200 ; t. CXXXIV, 1902, p. 352 et 1046.)

En étudiant l'action d'un champ magnétique sur les tubes à gaz raréfiés, j'ai constaté que le flux cathodique et le flux anodique éprouvent de la part d'un champ magnétique intense une action qui est comparable à un frottement anisotrope, le frottement étant considérable dans le sens per-

pendiculaire à la direction des lignes de forces et beaucoup plus faible dans le sens parallèle à celles-ci. Ce phénomène nouveau masque l'action de la force électromagnétique agissant sur ces flux, qui est prédominante dans les champs faibles, dès que le champ atteint une valeur suffisamment élevée.

Dans le cas du flux cathodique, ce frottement anisotrope donne lieu au curieux phénomène suivant, qui, tout d'abord, a appelé mon attention : le flux cathodique dessine exactement dans un champ intense le tube de forces magnétique ayant pour base la cathode, quelle que soit la pression du gaz raréfié dans l'ampoule. Dans le cas de la pression ordinaire des tubes de Geissler, le flux cathodique, illuminant le gaz sur son trajet, rend visible ainsi le tube de forces, ce qui constitue un très joli phénomène ([1]). J'ai montré que cet effet n'était pas dû à l'enroulement du flux autour des lignes de forces sous l'influence de la force électromagnétique et qu'il était dû à une cause non encore signalée.

Dans le cas du flux anodique, le phénomène est non moins net : le flux éprouve une résistance énorme à couper les lignes de forces d'un champ magnétique. Pour un champ de 7000 à 8000 unités, dans le cas de l'hydrogène, la longueur de l'étincelle qui, à l'air libre, équivaut à la décharge dans l'intérieur du tube devient beaucoup plus grande pour un parcours seulement de 7^{cm} dans le champ intense. La décharge préfère suivre un tube étroit et plus long placé en dérivation sur la partie du tube soumise au champ intense, mais ne traversant pas ce champ, que de passer tout droit à travers le tube large. Enfin, dans le cas où cette dérivation n'existe pas, le flux, en passant dans le champ intense, rend le tube brûlant, tandis qu'il reste froid ailleurs. Si, au contraire, le tube a son axe dans le sens des lignes de forces du champ, malgré l'intensité de celui-ci, il n'est pas sensiblement plus résistant qu'en l'absence du champ.

Cette action permet d'expliquer facilement un fait que j'avais trouvé un peu avant et qui ne m'avait pas paru explicable par les phénomènes connus : le tube étant placé dans les trous suivant l'axe des pièces polaires d'un électroaimant, le flux anodique s'amincit en un filet occupant l'axe du tube, entre les pièces polaires, quand il y règne un champ intense. Le flux se moule dans le tube de forces ayant pour base la section du tube à l'in-

([1]) Hittorf, Plucker et M. Witz avaient déjà indiqué, comme je l'ai reconnu depuis, que, dans un champ magnétique intense, le flux cathodique suivait les lignes de forces, mais sans signaler qu'il formait le tube de forces ayant pour base la cathode.

térieur des pièces polaires, à cause de la résistance qu'il éprouve à couper les lignes de forces.

Obliquité des stratifications dans un champ magnétique.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXXIII, 1901, p. 1200.)

J'ai reconnu que les stratifications de la lumière anodique devenaient obliques à l'axe dans un champ magnétique. La loi de cette obliquité est la suivante :

La strate monte de la gauche à la droite d'un observateur placé suivant l'axe de la lumière anodique et regardant dans le sens du champ.

D'après cette loi, le phénomène dépend du sens du champ, mais est indépendant du sens de la décharge.

RECHERCHES AYANT POUR BUT DE TROUVER LES LOIS DE PHÉNOMÈNES MAL CONNUS OU DE METTRE EN ÉVIDENCE DES PHÉNOMÈNES DOUTEUX.

1° Phénomènes se rattachant a la théorie de la pile.

Sur la polarisation des piles à un liquide.

(*Bull. de la Soc. Philom.*, 7e série, t. V, 1880, p. 36.)

Les résultats de ce travail sont les suivants :

Une pile du type Volta étant polarisée par la fermeture du circuit se dépolarise spontanément quand le circuit est ouvert. Pendant cette période, la force électromotrice est une fonction exponentielle du temps; d'où l'on déduit la loi suivante :

La vitesse de dépolarisation spontanée est proportionnelle à l'écart entre la force électromotrice normale et la force électromotrice actuelle.

La polarisation de l'élément est d'autant plus rapide et va d'autant plus loin que la densité du courant à la cathode est plus considérable.

Comme conséquence pratique de ce qui précède, la force électromotrice d'un élément polarisable devenant rapidement une fonction de l'intensité du courant qui le traverse, il en est de même de la différence de potentiel aux pôles; cette dernière fonction peut être déterminée sans peine par l'expérience; la détermination étant faite, on peut connaître facilement à l'avance, par une construction graphique, l'intensité du courant permanent fourni par un ou plusieurs éléments groupés en tension ou en quantité sur une résistance extérieure connue.

Différence de potentiel des couches électriques qui recouvrent deux métaux au contact.

(*Thèse de doctorat soutenue à la Sorbonne en juin* 1881. — *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXIV, p. 5. — *Journ. de Phys.*, 1re série, t. X, 1881, p. 58.)

Grâce à une méthode nouvelle (méthode de réduction à zéro), j'ai pu déterminer avec beaucoup de précision la différence de potentiel qui existe entre les couches électriques qui recouvrent les surfaces de deux métaux au contact, c'est-à-dire ce que j'ai appelé la *différence de potentiel apparente* de ces métaux. Cette grandeur, parfaitement définie, ne peut dépendre *a priori* que de la nature chimique ainsi que de l'état physique des métaux et du milieu isolant qui les entoure.

Cette étude m'a conduit aux résultats suivants :

1° Deux métaux différents réunis métalliquement sont recouverts, dans l'état d'équilibre, de couches électriques à des potentiels inégaux;

2° La différence de potentiel apparente ne dépend que de la couche la plus superficielle du métal.

Elle change notablement quand la surface est écrouie par un traitement mécanique; la surface écrouie devient plus positive.

L'écrouissage superficiel diminuant spontanément et disparaissant avec le temps, la différence de potentiel apparente revient à sa première valeur.

Elle est indépendante de l'état de poli ou de dépoli de la surface.

Des traces de matières étrangères formant une couche d'épaisseur assez faible pour être invisible (inférieure par conséquent à une longueur d'onde lumineuse) suffisent pour modifier profondément sa valeur. Ces expériences

montrent que l'action de la matière sur l'électricité ne s'exerce qu'à une distance inférieure à une longueur d'onde lumineuse.

3° La différence de potentiel apparente dépend de la température, la partie chaude et la partie froide d'un même métal se comportant comme deux métaux différents.

4° La pression ou la nature du gaz entourant les métaux a une influence très nette, mais excessivement faible, sur la valeur de la différence de potentiel apparente.

Ces variations de différence de potentiel sont toujours *en retard* sur les variations de la pression ou de la nature du gaz qui les provoquent; elles n'en sont qu'une conséquence indirecte, due à une légère modification éprouvée par les surfaces métalliques. La valeur de la différence de potentiel apparente paraît être en réalité indépendante du diélectrique gazeux.

5° La différence de potentiel entre les couches électriques qui recouvrent deux métaux réunis métalliquement a la même valeur que la force électromotrice d'un élément de pile à un liquide formé par ces deux métaux, pourvu que la force électromotrice soit déterminée avant toute altération des surfaces baignées par le liquide; ces altérations, qui se produisent en quelques secondes, font varier la force électromotrice de la pile suivant la nature du liquide interposé entre les métaux.

Dans ces recherches j'ai employé une méthode nouvelle pour la mesure relative des forces électromotrices des piles. On oppose à la pile une force électromotrice variable à volonté et constamment connue, prise sur un courant, et l'on constate l'égalité au moyen de l'électromètre capillaire de M. Lippmann. On évite ainsi complètement la polarisation de l'élément, ce qui n'a pas lieu avec les galvanomètres. Plus ou moins modifiée, cette méthode est constamment employée aujourd'hui.

Différence de potentiel vraie de deux métaux au contact.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CIV, 1887, p. 1099. — *Journal de Phys.*, 2e série, t. V, 1888, p. 195.)

Les méthodes employées par Volta et par ses successeurs pour montrer ou mesurer les différences de potentiel de deux métaux au contact ne donnent que cette différence augmentée des différences de potentiels qui peuvent exister entre l'air entourant les métaux et ces métaux mêmes, et

l'on pouvait, à la rigueur, attribuer à ces dernières quantités la totalité de l'effet observé.

J'ai pu, pour la première fois en 1887, démontrer que deux métaux mis au contact présentent bien réellement une *différence de potentiel de l'ordre de grandeur du volt*, ayant trouvé, pour cette *différence de potentiel vraie* entre le mercure et l'amalgame de zinc, le nombre $0^{volt},49$. La méthode que j'ai employée pour cela est fondée sur les phénomènes électrocapillaires.

Cette étude a été complétée par les deux Mémoires suivants.

Sur la différence de potentiel d'un métal et d'un sel du même métal au contact.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CVIII, 1889, p. 667. — *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIX, p. 560. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IX, 1890, p. 403.)

En faisant écouler en gouttelettes des amalgames liquides de différents métaux, assez riches en métal allié au mercure pour se comporter dans une pile comme le métal solide lui-même au milieu d'une dissolution d'un sel de ce métal, j'ai constaté qu'il n'existait aucune différence de potentiel entre l'amalgame qui s'écoule et celui qui s'est écoulé et qui est immobile au fond du vase à écoulement. Il n'en est plus de même quand l'écoulement a lieu dans une dissolution d'un sel d'un autre métal que celui qui entre dans l'amalgame. Ces expériences conduisent à la loi suivante :

La différence de potentiel normale entre un métal et une dissolution d'un de ses sels en contact avec lui est nulle.

Le Mémoire des *Annales* ou du *Journal de Physique* prévoit et réfute quelques objections qu'on pourrait faire à la légitimité de cette conclusion.

On peut déduire de cette loi, par la considération de ce qui a lieu dans une pile du type Daniell, la loi suivante :

La somme de la différence de potentiel des dissolutions de deux sels de même acide et de métaux différents au contact, et de la différence de potentiel de ces métaux mis au contact, est proportionnelle à la quantité de chaleur dégagée par la substitution d'un des métaux à l'autre dans le sel de l'acide considéré.

On peut voir par là comment la théorie de la pile dite *du contact* s'accorde avec la théorie dite *chimique*, sans qu'on soit obligé de supposer que

la grande différenee de potentiel a pour siége le eontaet du métal attaqué et du liquide électrolytique, ce qui est inexaet.

Sur la limite entre la polarisation et l'électrolyse.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CVIII, 1889, p. 1238. — *Ann. de Chimie et de Physique*, 6ᵉ série, t. XIX, p. 566. — *Journ. de Phys.*, 2ᵉ série, t. IX, 1890, p. 407.)

Quand on polarise une eathode, la différence de potentiel entre eette éleetrode et le liquide qui la baigne diminue. Si la force éleetromotriee E de la souree qui sert à produire eette polarisation est faible, les électrodes polarisées et le liquide électrolytique forment une pile seeondaire dont la force électromotrice fait équilibre à eelle qui produit la polarisation. Mais si la force éleetromotrice de la souree E dépasse une eertaine valeur, la polarisation de la eathode ne pouvant dépasser un certain maximum, l'éleetrolyse se produit.

A partir de quel moment a lieu ee ehangement quand on emploie une anode impolarisable? L'étude de cette question m'a eonduit à la loi suivante :

L'éleetrolyse visible eommenee à partir du moment où (par polarisation) l'on a rendu égaux le potentiel de la eathode et eelui du liquide éleetrolytique.

Les deux méthodes, indépendantes l'une de l'autre, qui m'ont servi à établir eette loi ne peuvent convenir que dans le eas où l'électrolyte est un acide; mais il est bien probable que la loi est également vraie dans le cas où l'électrolyte est un sel. En effet, en l'admettant dans ee eas, et en m'appuyant sur la loi du Mémoire précédent, j'ai pu déterminer la différence de potentiel vraie entre le mercure et le zinc au contact, et j'ai trouvé ainsi le nombre $0^{\text{volt}},51$ identique, aux erreurs d'expérienee près, au nombre $0^{\text{volt}},49$ que j'avais obtenu précédemment par une tout autre méthode.

Il y a là une méthode générale pour déterminer la différenee de potentiel vraie entre le mereure et un autre métal au eontact, et par eonséquent entre les divers métaux au contact, en appliquant la loi de Volta. Ainsi, j'ai trouvé qu'entre le mercure et le potassium la différenee de potentiel vraie est $1^{\text{volt}},47$; par conséquent, entre le potassium et le zinc la différenee est $1^{\text{volt}},47 - 0^{\text{volt}},51 = 0^{\text{volt}},96$.

La loi énoncée dans ce Mémoire étant admise pour les sels, la loi énoncée dans le Mémoire précédent et la loi de M. Lippmann, sur l'impossibilité de polariser un métal comme cathode dans une dissolution d'un de ses sels, se déduisent l'une de l'autre.

Force électromotrice de combustion.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. C, 1885, p. 735. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IV, 1885, p. 254.)

Comme on se sert dans les électromètres portatifs d'un corps en combustion pour prendre le potentiel d'un point de l'atmosphère, j'ai cherché si aucune différence de potentiel entre le support du corps combustible et le milieu ambiant n'était produite par le fait même de la combustion. En faisant brûler du gaz d'éclairage ou de l'hydrogène à l'extrémité de becs de divers métaux placés à l'intérieur de longs cylindres en métal (*inducteurs*), j'ai reconnu que ce système était comparable à une pile à faible débit, dont le bec et l'inducteur seraient les électrodes, présentant une force électromotrice parfaitement déterminée, bien constante, de l'ordre de grandeur du volt.

J'ai reconnu aussi que le procédé des mèches en papier imprégné d'azotate de plomb, dont on se sert pour les électromètres portatifs, peut donner lieu à des erreurs considérables. Au contraire, un petit bec de gaz brûlant en veilleuse se met presque instantanément au potentiel du milieu ambiant, ou du moins à un potentiel qui n'en diffère que d'une quantité faible et constante.

La disposition expérimentale qui m'a servi dans ces expériences m'a montré, en outre, que les appareils à écoulement d'eau employés pour prendre le potentiel de l'air ne se mettent qu'assez lentement en équilibre de potentiel avec l'atmosphère (5 à 10 minutes, par exemple).

2° Phénomènes se rattachant a l'étude des diélectriques.

Mesure de la force agissant sur un diélectrique solide non électrisé placé dans un champ électrique.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CXXI, 1895, p. 938. — *Journal de Physique*, 3e série, t. V, 1896, p. 525.)

Les formules auxquelles conduit sans faire d'hypothèses la théorie que j'ai exposée dans le Mémoire sur l'*Électrostatique non fondée sur les lois*

de Coulomb, dont j'indique plus loin les grandes lignes, au sujet des forces agissant sur les diélectriques non électrisés placés dans un champ électrique, ont été vérifiées d'abord dans le cas d'un corps solide.

Une lame d'ébonite, suspendue sous le plateau d'une balance, est placée entre les armatures planes d'un condensateur et s'arrête à peu près à mi-hauteur de celles-ci, la partie supérieure de la lame s'élevant beaucoup au-dessus des armatures. La balance donne la composante verticale de la force électrique exercée par le champ sur la lame. Comme les formules établies ne tiennent pas compte des perturbations dues aux bords verticaux, on élimine ces perturbations par l'étude expérimentale de plusieurs lames d'ébonite de même épaisseur, mais de largeurs différentes.

Toutes les grandeurs qui entrent dans la formule théorique ont été mesurées séparément. J'ai trouvé les expériences d'accord avec la formule, aux erreurs d'expériences près.

Mesure des forces agissant sur les diélectriques liquides non électrisés placés dans un champ électrique.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences,* t. CXXIII, 1896, p. 691. — *Journal de Physique,* 3e série, t. V, 1896, p. 525.)

J'ai soumis aussi au contrôle de l'expérience les formules que j'ai trouvées dans le cas des diélectriques liquides.

Le liquide employé était une huile de pétrole très pure et non volatile. Les expériences se faisaient en mesurant la dénivellation qui se produisait entre deux vases communiquants dont un seul, de forme rectangulaire, contenant une lame verticale du liquide, était placé entre les armatures parallèles d'un condensateur. Cette dénivellation, extrêmement faible, était mesurée au moyen d'un flotteur suspendu sous le plateau d'une balance de haute précision; le fléau portait à son extrémité un micromètre observé avec un microscope.

Ces expériences ne peuvent avoir la précision de celles faites avec les diélectriques solides, à cause de la difficulté d'employer pour les liquides l'artifice qui sert à éliminer l'action des bords.

Trois séries de mesures ont été faites dans des conditions très différentes, se rapportant à trois formules distinctes; comme dans le cas des corps solides, toutes les grandeurs qui entrent dans la formule ont été mesurées séparément. L'écart entre les nombres calculés et les nombres mesurés

(quelques microns) est assez faible pour qu'on puisse considérer les formules comme très bien vérifiées par l'expérience.

Sur la variation des constantes diélectriques avec la température.
(En commun avec M. Sacerdote.)

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXVII, 1898, p. 544.)

La mesure de la constante diélectrique à diverses températures a été faite au moyen de l'appareil que j'ai imaginé à cet effet et qui est décrit plus loin.

Elle a donné le résultat suivant : la paraffine a une constante diélectrique qui diminue légèrement quand la température s'élève, tandis que l'ébonite subit un accroissement dans sa constante diélectrique, quand sa température augmente, à peu près proportionnel à l'élévation de température. Le coefficient de variation moyen a été trouvé égal à $8,8.\ 10^{-4}$. Nous verrons plus loin l'importance de ce résultat.

(*Voir* en outre, plus haut, aux Phénomènes nouveaux, l'étude de la polarisation réelle.)

3° Phénomènes se rattachant a l'action d'un champ magnétique sur le flux cathodique et sur le flux anodique.

Contribution à l'étude des stratifications.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXX, 1900, p. 323.)

Je montre dans ce travail que les stratifications ne peuvent pas être attribuées à l'interférence d'ondes électriques directes et réfléchies, comme on serait très tenté de le croire à leur aspect. En plaçant un tube à stratification perpendiculairement aux lignes de forces d'un champ magnétique peu intense, l'onde électrique d'un certain sens est séparée de l'onde en sens inverse, comme je m'en suis assuré par une expérience directe et conformément aux lois de l'Électromagnétisme. Or, on ne voit aucune séparation de ce genre dans le cas d'un tube de Geissler à électrodes intérieures, et le mince filet auquel le champ magnétique réduit le faisceau anodique peut présenter des stratifications.

(*Voir* plus haut, aux Phénomènes nouveaux, le reste de mes études sur ce sujet.)

4° Expériences et mesures diverses concernant l'électricité.

Décharge d'un condensateur à travers une grande résistance.

(*Journal de Physique*, 1re série, t. X, 1881, p. 358.)

En admettant que la loi d'Ohm est applicable à la décharge d'un condensateur, c'est-à-dire qu'à chaque instant le courant a pour intensité le quotient de la différence de potentiel des armatures par la résistance R qui réunit les armatures, on arrive aisément à la formule suivante, si la résistance n'a pas de self-induction :

$$Q = V_0 C \left(1 - e^{-\frac{T}{CR}}\right),$$

dans laquelle Q représente la quantité d'électricité écoulée pendant le temps T, V_0 la différence de potentiel initiale des armatures et C la capacité du condensateur.

Je me suis proposé de vérifier l'exactitude de cette relation. Pour cela, à l'aide d'un trembleur rapide, un condensateur ($\frac{1}{3}$ de microfarad) était chargé à travers une résistance négligeable et déchargé à travers un galvanomètre et une résistance sans self-induction variable à volonté, pendant un temps toujours le même ($\frac{1}{300}$ de seconde environ). Le galvanomètre fournissait la quantité Q.

J'ai trouvé ainsi que Q diminuait quand la résistance R augmentait, et exactement comme l'indique la formule.

Énergie des courants téléphoniques. — Énergie sonore.

(*Journal de Physique*, 1re série, t. X, 1881, p. 358.)

En déchargeant un grand nombre de fois (100 fois environ) un condensateur à travers un téléphone au moyen du dispositif qui avait servi aux précédentes expériences, et en diminuant assez la résistance du circuit pour que la décharge pût être considérée comme complète, je pouvais faire chanter ce téléphone et connaître l'énergie électrique nécessaire à la production du chant. La force électromotrice employée pour la charge du condensateur était prise sur un fil traversé par un courant constant et pouvait, par conséquent, varier à volonté. En diminuant celle-ci jusqu'à ce

que le son du téléphone ne fût plus perçu par l'oreille, j'obtenais une limite à laquelle était inférieure la plus petite énergie sonore perceptible.

J'ai trouvé ainsi une limite extraordinairement petite. Pour en donner une idée, l'énergie correspondant à une petite calorie lancée convenablement dans un téléphone pourrait entretenir un son nettement perceptible pendant 10 000 ans. On peut juger par là de l'extrême délicatesse de l'oreille.

Influence du fer doux sur le carré moyen de la différence de potentiel aux extrémités d'une bobine parcourue par un courant alternatif.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXVI, 1898, p. 731.)

Une bobine B est parcourue par un courant de haute fréquence (environ 300 000 périodes par seconde) produit par les procédés connus. Une seconde bobine B′ est placée à la suite de la première, les axes des deux bobines coïncidant. La différence de potentiel efficace est mesurée, au moyen d'un électromètre délicat, aux extrémités de la bobine B′. On introduit alors un faisceau de fil de fer assez long pour occuper l'axe des deux bobines. Dans ces conditions, on ne trouve pas d'augmentation dans la différence de potentiel efficace aux extrémités de la bobine B′.

Cette expérience pourrait faire croire que, dans le cas de champ de haute fréquence, le fer ne s'aimante pas. Il n'en est rien, comme le prouve l'expérience suivante :

Supprimant la bobine B′, on mesure la différence de potentiel efficace aux deux extrémités de la bobine B. Or, contrairement à ce qu'on pouvait attendre, cette différence est diminuée par l'introduction d'un faisceau de fer doux dans l'intérieur de la bobine. Dans une de mes expériences, cette réduction a été dans le rapport de 3 à 1. Ce phénomène n'est pas dû aux courants de Foucault développés dans le métal introduit, car, soit avec un faisceau de fil de cuivre, soit même avec un barreau de cuivre introduit dans la bobine, la différence de potentiel efficace ne varie pas sensiblement. L'aimantation du métal introduit est donc nécessaire.

Ce phénomène inattendu doit être lié à l'hystérésis du fer et à la dégradation de l'énergie qui en résulte.

De l'augmentation de l'intensité moyenne du courant par l'introduotion du primaire de la bobine dans le cas de l'interrupteur de Wehnelt.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXVIII, 1899, p. 732.)

Sur l'interrupteur de Wehnelt.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXVIII, 1899, p. 815.)

Dans ces deux Notes, je signale et étudie le phénomène paradoxal suivant. En introduisant le primaire d'une bobine de Ruhmkorff dans le circuit comprenant une batterie d'accumulateurs, un interrupteur de Wehnelt et un ampèremètre, celui-ci indique que l'intensité moyenne du courant est notablement augmentée (dans le rapport de 15 à 25 et plus). Ainsi l'introduction d'une impédance augmente l'intensité moyenne au lieu de la diminuer, comme on pourrait s'y attendre.

Ce fait provient, comme je l'ai reconnu ensuite, de ce que l'interrupteur de Wehnelt présente deux régimes, l'un à grande intensité, l'autre à faible intensité, qui sont stables l'un et l'autre, qu'il y ait ou non une inductance dans le circuit. Mais le régime à grande intensité s'obtient plus facilement dans le cas où une inductance est placée dans le circuit, et le régime à faible intensité plus facilement, au contraire, dans le cas où le circuit est dépourvu d'inductance.

Sur une expérience d'oscillation électrique.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXXII, 1901, p. 1178.)

Deux condensateurs de capacité très inégales (une grande jarre et une petite bouteille de Leyde, par exemple) sont chargés en batterie; tout près du petit condensateur se trouvent deux tiges de décharge; la différence de potentiel entre les armatures est un peu inférieure à celle qui provoquerait la décharge. Dans ces conditions, si l'on vient, au moyen d'un commutateur convenable, à intervertir les communications entre les armatures, en faisant communiquer l'armature négative de l'un avec l'armature positive de l'autre, l'étincelle éclate toujours entre les tiges de décharge au moment de l'inversion des communications. Or, remarquons que, si les tiges de décharge étaient assez écartées pour que l'explosion ne se produise pas, après l'inversion et l'équilibre atteint, la différence de potentiel serait

moindre qu'avant. Ainsi une cause qui dans l'état d'équilibre diminue la distance explosive l'augmente au moment de la rupture d'équilibre.

Ce phénomène s'explique pourtant très bien par les lois connues des oscillations électriques; le calcul m'a montré qu'au moment de l'inversion la différence de potentiel maximum entre les armatures du petit condensateur peut, par suite des oscillations, atteindre jusqu'à trois fois la valeur de la différence de potentiel primitive.

Si le diélectrique du petit condensateur est suffisamment mince, il peut être ainsi percé au moment de l'inversion.

J'ai surtout signalé ces phénomènes, parce qu'ils donnent lieu à une expérience de cours très facile à répéter et montrent bien un des effets curieux des oscillations électriques, l'accroissement des différences de potentiel qui peut en résulter.

Perte d'électricité par évaporation de l'eau électrisée. Application à l'électricité atmosphérique.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXVIII, 1899, p. 169. — *Journal de Physique*, t. VIII, 3e série, 1899, p. 253.)

J'ai montré, d'une façon qui ne me paraît pas douteuse, qu'une surface d'eau électrisée avec une charge même faible (huit ou dix fois la charge moyenne du sol) perd de l'électricité par évaporation de l'eau. Les expériences ont été croisées, car c'est seulement comme cela qu'on peut constater la perte d'électricité par évaporation. Il est absolument indispensable, pour ces expériences, que tous les isolements soient faits au moyen de paraffine, le seul corps qui isole parfaitement, aussi bien les diverses parties de l'électromètre que les autres (électromètre à quadrants de M. Bouréaux). C'est faute d'employer ces précautions indispensables que quelques expérimentateurs, qui ont répété mes expériences, sont arrivés à des résultats négatifs.

Suivant les conditions, la perte par la vaporisation, en l'espace d'une heure, à la température ordinaire, a varié dans mes expériences de 0,46 à 0,78 de la charge initiale de la surface de l'eau.

Ces nombres, relativement considérables, permettent d'expliquer le minimum que présente, au début des heures chaudes de la journée, le champ électrique dans le voisinage du sol, en reprenant et en précisant une ancienne explication due à Peltier.

RECHERCHES AYANT POUR BUT L'ÉVALUATION D'UNE GRANDEUR IMPORTANTE.

Détermination du rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CIII, p. 1189. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. X, 1891, p. 389.)

En 1887, à l'époque où j'ai commencé ce travail, il n'existait pour le rapport entre l'unité électromagnétique et l'unité électrostatique d'électricité que des nombres ne présentant pas entre eux un accord supérieur à $\frac{1}{50}$; c'était insuffisant pour une grandeur de première importance. Je pensai que la mesure d'une même différence de potentiel en unités électromagnétiques au moyen de l'électrodynamomètre absolu, que je venais de faire construire, et en unités électrostatiques au moyen de l'électromètre absolu de Sir W. Thomson permettrait d'atteindre une précision bien plus grande.

Le nombre $300,9 \times 10^8$ que j'ai trouvé ainsi, par un travail qui a duré plusieurs années, s'accorde bien avec les nombres qui ont été publiés par différents auteurs entre 1887 et 1891. Il ne diffère que de $\frac{1}{300}$ du nombre donné par Cornu pour la vitesse de la lumière dans l'air ($300,3 \times 10^8$).

Détermination de l'équivalent électrochimique de l'argent.

(En commun avec M. Potier.)

(*Bulletin des séances de la Société de Physique*, 1889. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IX, 1890, p. 381.)

L'électrodynamomètre absolu décrit plus loin permet de rapporter avec une grande précision l'intensité d'un courant à l'unité théorique (C.G.S). Nous nous sommes proposé, M. Potier et moi, de déterminer avec cet appareil la masse d'argent déposée, par seconde, dans un courant d'intensité électromagnétique connue. La moyenne de deux expériences faites avec soin a donné $1^{mg},1192$ d'argent déposé par un ampère en une seconde. Les nombres obtenus précédemment par Kohlrausch, lord Rayleigh et M. Mascart sont respectivement 1,1183, 1,118 et 1,1156. MM. Patterson et Guthe, dans un travail extrêmement soigné fait depuis nos expériences, ont trouvé exactement le même nombre que nous ($1^{mg},1192$).

Mesure du pouvoir rotatoire du sucre. — Sa variation avec la température et avec la longueur d'onde.

(*Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, t. XXIII, 1901, p. 289.)

Ce travail a été entrepris sur la demande de la *Commission pour l'unification des méthodes d'analyse des alcools et des sucres* du Ministère des Finances.

Le programme qui m'avait été tracé par la Commission était le suivant :

1° Déterminer la prise d'essai, conformément à la définition de la Commission;

2° Déterminer la variation du pouvoir rotatoire de la solution normale de sucre avec la température pour la raie D du sodium;

3° Déterminer la variation de la solution normale avec la longueur d'onde de la lumière employée.

Pour satisfaire à ce triple programme il fallait un appareil nouveau. Celui-ci a été construit, avec une rare perfection, par M. Jobin, d'après les plans que j'avais faits et qui avaient reçu l'approbation de la Commission.

Ce travail a duré plusieurs mois de deux années consécutives. Le nombre trouvé pour la prise d'essai a été exactement le même que celui qu'ont trouvé MM. Mascart et Bénard dans un travail parallèle ($16^g,285$ et $16^g,284$).

La détermination de la variation du pouvoir rotatoire avec la température est une opération fort délicate; le nombre que j'ai trouvé pour le coefficient de variation de la rotation de la solution normale est $-0,00038$.

L'étude de la variation avec la longueur d'onde, plus facile à faire, a montré qu'une formule parabolique à deux termes en raison inverse, l'un du carré de la longueur d'onde, l'autre de sa quatrième puissance, représentait très convenablement l'ensemble des résultats.

APPAREILS.

Appareil pour effectuer la synthèse des couleurs composées.

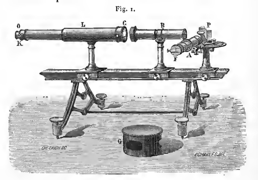
(*Journ. de Phys.*, 1re série, t. VIII, 1879, p. 20.)

Cet appareil (*fig.* 1), que j'ai appelé *chromatoscope*, permet de mélanger en teinte plate les couleurs simples du spectre d'une source de lumière blanche, en prenant ces couleurs en proportions déterminées par une loi quelconque.

Il suffit pour cela de placer dans un spectre réel, que fournit l'appareil, un écran laissant passer de chaque couleur une hauteur proportionnelle à la quantité suivant laquelle cette couleur doit figurer dans le mélange.

Le principe de l'appareil est le même que celui de l'expérience par laquelle Newton a reconstitué la lumière blanche au moyen d'une lentille; mais il faut dans cette expérience prendre des précautions particulières, si l'on veut que la teinte soit toujours plate, quelle que soit la manière dont les couleurs sont interceptées.

Fig. 1.



Au devant de l'oculaire du chromatoscope se trouve un prisme à réflexion totale qui permet de voir, juxtaposée à la teinte plate fournie par l'appareil, une autre teinte fournie par un appareil quelconque qu'on veut lui comparer; les deux teintes sont vues ainsi comme les deux parties d'une

plaque de quartz à deux rotations. Cet appareil a été construit par M. Lutz. Outre les expériences rapportées à la page 47, il m'a été permis de vérifier que les formules de la polarisation chromatique ou rotatoire donnent bien les couleurs dans les proportions où elles existent en réalité : la teinte calculée et reproduite au moyen du chromatoscope est identique à la teinte fournie par l'appareil de Noremberg.

Électrodynamomètre absolu. — Ampères étalons.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CIII, 1886, p. 1189. — *Journ. de Phys.*, 2ᵉ série, t. VI, 1887, p. 175. — *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. V, 1888, p. 195.)

La détermination de l'ohm et la réalisation d'étalons représentant cette grandeur ne suffisaient pas évidemment pour mesurer en valeur absolue toutes les grandeurs concernant l'électricité. Il était indispensable d'avoir soit des étalons de force électromotrice déterminés en valeur absolue, soit des appareils donnant la valeur absolue de l'intensité d'un courant.

Après avoir étudié la question, je reconnus l'extrême difficulté d'obtenir des étalons de force électromotrice suffisamment constants, et la difficulté aussi grande d'en faire une bonne détermination sans avoir à mesurer en valeur absolue l'intensité d'un courant. C'est pourquoi je me suis décidé à faire construire un *électrodynamomètre absolu* permettant la mesure directe des courants électriques en ampères.

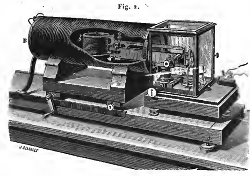
Cet appareil est un électrodynamomètre-balance d'une disposition nouvelle et qui devait présenter plus de garanties d'exactitude que les électrodynamomètres-balances construits jusqu'alors. Il se compose (*fig.* 2) d'une longue bobine fixe horizontale à l'intérieur de laquelle se trouve une bobine mobile à axe vertical portée par un fléau de balance. Le courant à mesurer passe dans les deux bobines, grâce à une disposition qui ne gêne nullement le mouvement de la bobine mobile ; des poids placés dans le plateau que porte le fléau permettent de contre-balancer le couple électrodynamique qui tend à faire basculer ce fléau, et en fournit la mesure.

Le produit de la racine carrée de ces poids par une constante A donne la valeur absolue de l'intensité du courant. Cette constante A a été déterminée par des mesures de longueur exécutées sur l'appareil et qui n'entrent dans le calcul que par leur rapport. J'estime que l'erreur de la détermination de A ne s'élève pas à $\frac{1}{2000}$. Quant au poids qui compense l'action électro-

dynamique, on l'obtient à moins de $\frac{1}{10000}$, grâce à la perfection des pointés faits au microscope.

On voit qu'un courant sera donné à $\frac{1}{2000}$ au moins en valeur absolue et à $\frac{1}{10000}$ en valeur relative. L'expérience a justifié ce dernier point. Quant à la précision absolue, la principale justification indirecte est l'accord à moins

Fig. 2.



de $\frac{1}{1000}$ des nombres obtenus par M. Potier et moi pour l'équivalent électrochimique de l'argent avec les nombres obtenus séparément par Kohlrausch et lord Rayleigh et l'accord absolu signalé plus haut entre notre nombre et celui trouvé par MM. Patterson et Guthe.

Cet appareil a été construit avec le plus grand soin par M. Carpentier.

J'ai fait faire par le même constructeur, sous le nom d'*ampères étalons*, des copies de l'électrodynamomètre absolu qui ne diffèrent de cet instrument qu'en ce que la bobine fixe est beaucoup plus courte et que le fil forme plusieurs couches sur la bobine mobile (*fig.* 3). La constante A de ces instruments est déterminée par comparaison avec l'électrodynamomètre absolu; comme la comparaison se fait avec une extrême précision, et que les ampères étalons ont une sensibilité même supérieure à celle de l'électrodynamomètre absolu, ils permettent d'obtenir l'intensité d'un courant avec la même précision que l'électrodynamomètre absolu lui-même.

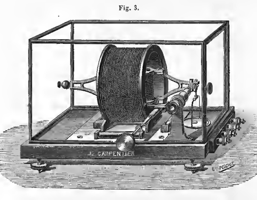
Ces appareils sont déjà assez répandus en France; quelques-uns même ont été acquis par l'étranger. Ils servent actuellement de base à l'étalonnage des ampèremètres et des voltmètres au Laboratoire central d'Électricité.

Au moyen d'un de ees appareils et d'une résistanee étalonnée, on peut aisément mesurer en valeur absolue une foree éleetromotriee par un procédé simple et très préeis que j'ai déerit à propos de la détermination du v de Maxwell (*Journal de Phys.*, 2[e] série, t. X, p. 391). J'ai fait ainsi de nombreuses déterminations de forees éleetromotriees.

Pour être mesurés direetement par l'éleetrodynamomètre absolu ou par un ampère étalon, les eourants doivent avoir une intensité comprise entre 0,1 et 0,5 ampère; mais, indireetement, au moyen d'un latimer-elark étalonné par ees instruments, on peut mesurer en valeur absolue des eourants d'intensité queleonque forts ou faibles, en renversant en quelque sorte la méthode qui sert à déterminer une foree électromotriee.

Enfin, joint à une boussole des tangentes, un ampère étalon peut fournir une mesure rapide et préeise de la eomposante horizontale du magnétisme

Fig. 3.



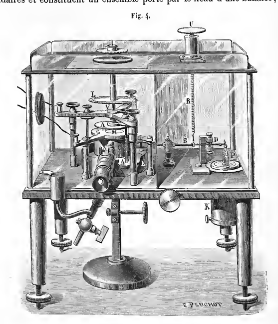
terrestre (H), la eonstante de la boussole des tangentes (d'une forme spéciale) étant déterminée par une simple comparaison avee la eonstante déjà eonnue de la grande bobine de l'éleetrodynamomètre absolu. (Cette méthode pour déterminer H n'est eneore qu'à l'état de projet, mais elle ne paraît pas offrir de diffieultés sérieuses; elle sera, je erois, bien préférable à la méthode de Gauss, presque exelusivement employée aetuellement. L'appareil est en eonstruetion.)

Appareil pour mesurer le pouvoir inducteur spécifique des solides et des liquides.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CXX, p. 773. — *Journal de Physique*, 3e série, t. IV, p. 501. — *L'Éclairage électrique*, t. V, 1895, p. 145.)

Cet appareil (*fig.* 4) est formé d'un double électromètre absolu de lord Kelvin. Les deux plateaux mobiles placés l'un au-dessus de l'autre sont solidaires et constituent un ensemble porté par le fléau d'une balance; les

Fig. 4.



anneaux de garde forment les deux bases d'un même cylindre; les plateaux attractifs placés l'un au-dessus du plateau mobile supérieur, l'autre au-dessous du plateau mobile inférieur, sont reliés entre eux (partie AA'),

mais isolés du reste de l'appareil (partie CGM); le plateau attractif inférieur est fixe, mais le plateau supérieur peut être élevé ou abaissé au moyen d'une vis de sphéromètre.

La tare de la balance étant faite, si l'on établit une différence de potentiel entre les parties AA′ et CGM, en général le fléau bascule; mais on trouve une position du plateau attractif supérieur qui le ramène à l'équilibre. Si l'on introduit une lame de la substance solide étudiée entre le plateau attractif supérieur et le plateau mobile correspondant, il faut donner une autre position au plateau attractif supérieur pour obtenir l'équilibre. La valeur du déplacement de ce plateau entre la première et la seconde position, jointe à la mesure de l'épaisseur de la lame, donne immédiatement le pouvoir inducteur spécifique de celle-ci.

La position d'équilibre étant indépendante de la différence de potentiel employée, il vaut mieux se servir de différences de potentiel rapidement alternées.

La précision de cet appareil est extrêmement grande, car on peut fixer à deux ou trois microns près la position du plateau attractif. La mesure ne prend pas plus de temps qu'une pesée ordinaire.

Pour les liquides, on obtient la seconde position d'équilibre après avoir noyé la partie inférieure de l'appareil dans une petite cuve contenant le liquide étudié. La précision est du même ordre que pour les solides.

Cet appareil, jusqu'ici, m'a surtout servi à déterminer le pouvoir inducteur spécifique des solides et des liquides employés dans les expériences que j'ai faites sur les diélectriques.

L'appareil a été construit par MM. Ducretet et Lejeune.

Sirène.

(*Journal de Physique*, 3e série, t. IV, 1895, p. 366.)

La sirène de Cagniard de la Tour présente un défaut : l'appareil moteur est le même que l'appareil producteur du son. Il en résulte que l'intensité d'un son permanent est fonction de sa hauteur : on ne peut obtenir ni des sons graves intenses, ni des sons aigus faibles. En outre, le maintien du son à une hauteur déterminée est difficile.

J'ai fait construire par MM. Ducretet et Lejeune une sirène dans laquelle l'organe moteur est distinct de l'organe producteur du son : les trous des plateaux sont dirigés normalement à leur surface; le plateau mobile est mis en rotation par un petit moteur électrique, auquel j'ai ajouté plus tard un

frein éleetromagnétique. En agissant sur le eourant qui aetionne ee frein et, au besoin, sur eelui qui aetionne le moteur, au moyen de rhéostats, on arrive très rapidement à passer d'un son de hauteur déterminée à un autre. La fixité du son est beaueoup plus parfaite que dans la sirène ordinaire. En outre, eomme la hauteur n'est plus affeetée par la pression de l'air, on peut obtenir, en faisant varier eelle-ei, des sons intenses ou faibles pour toutes les hauteurs.

Appareil inscripteur de la marche des trains et système de signaux destinés à éviter les eollisions.

(*Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. IX, 1892, p. 322.)

Les nombreuses eollisions de trains qui se sont produites en 1891 et dans les années préeédentes ont fortement ému le publie ; elles semblaient montrer que le système de signaux actuellement en usage était insuffisant, surtout quand les employés, par suite de quelques préoeeupations étrangères à leur serviee, ne prêtaient pas à eelui-ei toute l'attention néeessaire.

Je me suis demandé s'il ne serait pas possible d'avoir un système de signaux plus effieaee et qui eût surtout pour effet de foreer l'attention des employés.

J'ai alors imaginé et réalisé le modèle du système dont je vais rappeler iei les dispositions essentielles.

Un employé, plaeé dans un poste fixe (*poste-vigie*), peut voir à la fois tous les trains en marehe sur une même voie dans une longueur de 50^{km}, 80^{km}, ou plus au besoin ; eet employé peut ainsi prévoir une reneontre de trains et donner, par un coup de sifflet éclatant sur la locomotive même, un signal au méeanieien pour qu'il ralentisse la marche du train et s'en rende maître, de manière à pouvoir l'arrêter dans la portion de voie en vue. Ce signal, du reste, peut être répété plusieurs fois, tant qu'il y a menaee de danger.

A eet effet, le train en marehe traee automatiquement son graphique par points sur une bande de papier qui se déroule lentement sous les yeux de l'employé du poste-vigie. Ce résultat est obtenu au moyen de robustes pédales, plaeées de distanee en distanee sur la voie, qui, étant aetionnées par les roues du train, ferment momentanément un eireuit ; le eourant, extrêmement faible du reste, produit sur la feuille de papier, imprégnée

d'une dissolution d'iodure de potassium, une décomposition électrochimique qui fait apparaître un point bien noir, par suite de la mise en liberté de l'iode.

Tous les fils nécessaires à la transmission des signaux, dans les deux sens, peuvent être placés dans une gaine de plomb, et former un petit câble de la grosseur du doigt, pour une longueur de 60^{km} ou 70^{km}, logé sous la terre à l'abri des accidents.

Les procédés pour forcer l'attention de l'employé du poste-vigie, attention très peu fatigante du reste, ainsi que pour parer aux accidents fort rares qui peuvent survenir au système, ont été étudiés. Enfin, il en a été de même pour le côté économique du projet : ce système serait un peu moins coûteux que le ***block-system*** sur les lignes très chargées.

Un modèle, grandeur d'exécution de l'appareil, a été construit par M. Carpentier et a figuré et fonctionné à l'Exposition de Chicago. Une ligne en miniature était parcourue par deux petites locomotives mécaniques qui produisaient et recevaient les signaux.

RECHERCHES THÉORIQUES.

1° Électricité et thermodynamique.

Électrostatique non fondée sur les lois de Coulomb. — Force agissant sur les diélectriques non électrisés placés dans un champ électrique.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXIX, 1894, p. 675. — *Annales de Chimie et de Physique*, t. IV, 7e série, mai 1895. — *L'Éclairage électrique*, 2e année, t. I, p. 289 et 481. — *Journal de Physique*, t. V, 3e série, 1896, p. 214.)

Les lois de Coulomb ne sont plus exactes quand le diélectrique interposé entre les conducteurs est hétérogène. Les hypothèses de polarisation ou de couches fictives imaginées pour pouvoir encore se servir des lois de Coulomb sont dangereuses, car elles conduisent parfois à des résultats non justifiés par l'expérience. Il est même curieux que la théorie de la plupart des méthodes employées pour mesurer le pouvoir inducteur spécifique ait nécessité jusqu'ici l'intervention d'une hypothèse. Une réforme dans les

lois fondamentales de l'Électrostatique s'imposait. C'est cette réforme que j'ai essayé de faire.

Je me suis appuyé sur un très petit nombre d'expériences tout à fait classiques, sur les principes de la Thermodynamique, et sur deux principes propres à l'Électricité; un de ces principes, de nature expérimentale, a paru tellement évident qu'on l'a toujours implicitement admis jusqu'ici dans les théories de l'Électricité; quant au second, il est de toute évidence, lorsqu'on considère les phénomènes comme dus à des actions de milieu. J'ai pu ainsi, sans faire d'hypothèses, établir rigoureusement, par des raisonnements simples, toutes les relations connues de l'Électrostatique, généralisées de façon à être applicables dans le cas d'un diélectrique hétérogène; j'ai établi, en outre, quelques relations nouvelles concernant les forces qui agissent sur les diélectriques non électrisés placés dans un champ électrique.

Cette façon purement expérimentale d'établir l'électrostatique doit se trouver d'accord avec toute bonne théorie de l'Électricité et peut servir, en quelque sorte, de pierre de touche à une théorie hypothétique.

De la variation d'énergie dans les transformations isothermes. Énergie électrique.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXV, 1897, p. 699.
Journal de Physique, t. VII, 3e série, 1898, p. 18.)

Le plus souvent, en dehors des raisonnements de la Thermodynamique proprement dite, on a considéré les transformations physiques isothermes comme étant aussi adiabatiques, car on a négligé les quantités de chaleur que le système doit prendre ou fournir au milieu extérieur pour maintenir sa température constante pendant la transformation considérée.

J'ai fait ressortir l'erreur commise en procédant ainsi, car, en dehors des actions purement mécaniques, il y a très peu de transformations à la fois isothermes et adiabatiques. J'ai donné l'expression générale de la quantité de chaleur mise en jeu dans une transformation isotherme, ainsi que la variation d'énergie dans de semblables transformations, qui jusqu'alors était donnée d'une façon erronée par suite de l'oubli du terme qui correspond à la quantité de chaleur mise en jeu.

Appliquant ces formules générales au cas particulier de l'énergie d'un système électrisé, j'ai donné la valeur exacte de cette énergie. Elle diffère de l'expression admise jusqu'alors toutes les fois que, pour des charges

données, les potentiels dépendent de la température, ce qui est presque toujours le cas, à cause des dilatations et surtout de la variation du pouvoir inducteur spécifique avec la température.

C'est précisément ce qui nous a engagés, M. Sacerdote et moi, à étudier expérimentalement cette variation du pouvoir inducteur spécifique avec la température. Du nombre indiqué plus haut, pour le coefficient de variation dans le cas de l'ébonite, on déduit que la valeur admise jusqu'alors pour l'énergie d'un condensateur chargé à lame d'ébonite était fausse de 29 pour 100.

De l'énergie d'un champ magnétique. — Modification du raisonnement classique qui conduit à la formule de Neumann.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CXXVII, 1898, p. 507. *Journ. de Phys.*, 3[e] série, t. VII, 1898, p. 702.)

D'après les remarques générales faites ci-dessus, l'énergie d'un champ magnétique était indiquée, elle aussi, d'une façon inexacte. J'ai donné la formule exacte qui représente l'énergie du champ magnétique, dans les cas où il est constitué par des aimants rigides seuls, par des courants seuls et enfin par une association d'aimants et de courants. Dans ce dernier cas, j'ai montré que cette énergie était bien la somme des énergies du système formé par les aimants seuls et du système formé par les courants seuls.

Comme je me suis appuyé, pour trouver l'expression de l'énergie dans le cas des courants, sur les lois de l'induction électrique, j'ai montré comment on pouvait établir exactement la formule fondamentale de l'induction (formule de Neumann) en modifiant, pour le rendre rigoureux, le raisonnement donné par Helmholtz et par lord Kelvin, qui, comme on le sait, est insuffisant.

Sur l'énergie et les phénomènes électriques de contact.

(En commun avec M. Sacerdote.)

(*Journ. de Phys.*, 3[e] série, t. VII, 1898, p. 24.)

Un condensateur formé par deux plateaux de métaux différents, même placé dans un vide absolu, serait chargé si l'on réunissait les plateaux par un fil métallique, à cause de la différence de potentiel de contact des deux métaux. Si on les approche et les écarte alternativement, il naîtra dans le

fil un courant alternatif qui y créera de la chaleur d'après la loi de Joule. Nous avons montré, M. Sacerdote et moi, que cette chaleur créée ainsi est exactement l'équivalent du travail dépensé pour écarter et rapprocher les plateaux. Ainsi tombe l'objection contre l'existence d'une différence de potentiel entre deux métaux différents au contact, qu'on croyait pouvoir tirer du principe de la conservation de l'énergie.

De l'énergie d'un système électrisé considérée comme répartie dans le diélectrique.

(En commun avec M. Sacerdote.)

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CXXVI, 1898, p. 817.)

La formule générale de l'énergie électrique, telle que je l'ai modifiée pour la rendre exacte en tenant compte de la chaleur mise en jeu pendant la charge, a été mise sous la forme qui montre que cette énergie peut être considérée comme répartie dans le diélectrique, chaque élément de volume de celui-ci ayant sa part d'énergie.

Cette transformation a été effectuée par M. Sacerdote et par moi.

Des diélectriques et de leur polarisation réelle. — Conséquence de cette polarisation.

(*Ann. de Chim. et de Phys.*, 7[e] série, t. XVIII, 1899.
Journ. de Phys., 3[e] série, t. IX, 1900, p. 313.)

Après avoir montré par l'expérience l'existence de la polarisation réelle des diélectriques qui ont été placés dans un champ électrique, j'ai établi les formules générales qui donnent l'état de la polarisation à une époque déterminée comptée à partir du moment où le champ a été créé. Je me suis aidé pour cela de la loi de la *superposition* trouvée par M. Jacques Curie dans son étude sur la conductibilité apparente des diélectriques (*voir* le complément de mon Mémoire à la fin du t. XVIII des *Annales*). J'ai montré que l'état de polarisation dépendait, outre le pouvoir inducteur spécifique vrai, de deux autres constantes : l'une, h, est le quotient de la polarisation qu'acquerrait au bout d'un temps théoriquement infini, dans un champ constant, la substance, par l'intensité du champ; l'autre, b, caractérise la vitesse de polarisation.

Ces formules rendent parfaitement compte de plusieurs phénomènes qui,

jusqu'alors, étaient restés fort obscurs : la conductibilité apparente des diélectriques, si bien étudiée par M. Jacques Curie; la variation apparente du pouvoir inducteur spécifique avec la durée du champ; le résidu des condensateurs; la prétendue pénétration de l'électricité dans les diélectriques.

Toutes ces questions relatives à ce qu'on a appelé parfois les *diélectriques imparfaits*, qui forment la totalité, ou peu s'en faut, des diélectriques, se trouvent ainsi singulièrement éclaircies.

Dans ce Mémoire se trouvent encore relatées quelques expériences de vérification.

De l'énergie absorbée par les condensateurs soumis à une différence de potentiel sinusoïdale.

(En commun avec M. Beaulard.)

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. CXXX, 1900, p. 1457.)

En nous appuyant, M. Beaulard et moi, sur les relations que j'avais établies dans le Mémoire précédent, nous avons trouvé une relation extrêmement simple ($W_1 = bh\varphi_0^2$, où b et h ont les significations indiquées ci-dessus) qui représente l'énergie W_1 transformée en chaleur pendant l'unité de temps pour l'unité de volume d'un diélectrique soumis à un champ sinusoïdal d'intensité efficace φ_0.

Ceci montre l'importance pratique de la détermination des constantes b et h, puisque l'industrie a tout intérêt à se servir, pour les condensateurs qu'elle emploie, de substances qui donnent une valeur minimum au produit bh.

Formules fondamentales de l'Électrodynamique.

(*Journ. de Phys.*, t. III, 1884, p. 117.)

On sait qu'Ampère a mis la force agissant entre deux éléments de courant sous la forme

$$f = ds ds' [f(r) \cos\theta \cos\theta' - F(r) \sin\theta \sin\theta' \cos\omega].$$

Ampère a imaginé, pour déterminer $f(r)$ et $F(r)$, des expériences dont une au moins est presque impossible à réaliser et qui, par le fait, n'a

jamais été réalisée. Depuis, plusieurs physiciens ou mathématiciens sont arrivés à faire disparaître cette difficulté. En particulier, M. Bertrand et M. Blanchet ne font aucune hypothèse *a priori* sur la forme des fonctions $f(r)$ et $F(r)$, et leurs méthodes présentent ainsi toute la rigueur désirable. Mais ces analyses, quoique fort élégantes, sont un peu trop longues et un peu trop difficiles pour l'enseignement élémentaire.

Ayant à traiter l'Électrodynamique devant des élèves de Mathématiques spéciales, j'ai employé une marche simple, quoique parfaitement rigoureuse, pour déterminer $f(r)$ et $F(r)$. Cette méthode s'appuie sur des expériences faciles à réaliser avec une grande précision, et qui peuvent être faites dans un cours sous les yeux des élèves. Ces expériences ont du reste été exécutées.

(Je préviens le lecteur de l'article auquel je renvoie pour la description de cette méthode que, si j'ai employé la forme un peu lourde des dérivées et des fonctions primitives dans les calculs, c'est que les notions de différentielle et d'intégrale n'étaient pas encore introduites dans les programmes de Mathématiques spéciales à l'époque où j'ai écrit cet article.)

L'appareil qui m'a servi à trouver $f(r)$ et $F(r)$ étant légèrement modifié permet aussi très facilement d'établir l'action d'un élément de courant sur un pôle magnétique, par une expérience susceptible de beaucoup plus de précision que celle de Biot et Savart, et par un calcul bien plus simple.

De la mesure de la force électromotrice de contact des métaux par le phénomène Peltier.

(*Journ. de Phys.*, 1re série, t. IX, 1880, p. 129.)

Je montre que l'on ne saurait déduire du phénomène Peltier la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact. (Dans cet article, j'ai employé comme synonymes les expressions *force électromotrice de contact* et *différence de potentiel au contact*, suivant l'usage de cette époque, mais toujours dans le sens que j'attache aujourd'hui à cette dernière expression et qui est indiqué dans l'article suivant.)

Distinction entre la force électromotrice et la différence de potentiel au contact.

(*Ann. de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIX, p. 556. — *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IX, 1890, p. 401.)

Je fais remarquer que, si l'on veut rester fidèle aux définitions générales de la *force électromotrice* (énergie communiquée à l'unité d'électricité) et du *potentiel* $\left(\sum \frac{m}{r}\right)$, on doit distinguer la force électromotrice au contact de deux corps de la différence de potentiel qu'ils présentent. Ces deux grandeurs ont souvent été confondues, et il en est résulté parfois que deux auteurs dont les vues étaient également justes semblaient différer d'opinion. Ce qui a pu entraîner cette confusion, c'est que la somme des forces électromotrices aux divers contacts d'un élément de pile est égale à la somme des différences de potentiel à ces mêmes contacts; mais pour un contact particulier les deux grandeurs peuvent être très différentes, comme je le montre par des exemples : c'est ainsi qu'au contact de deux métaux la force électromotrice qui se mesure par l'effet Peltier est presque nulle (de l'ordre des millièmes ou des centièmes de volt), tandis que, comme je l'ai indiqué plus haut, la différence de potentiel de deux métaux peut atteindre et dépasser 1 volt.

Dans un article tout récent, qui a paru dans le quatrième volume des *Rapports présentés au Congrès international de Physique réuni à Paris en* 1900, j'ai insisté sur la distinction qu'il est nécessaire de faire entre :

1° La *force électromotrice de contact,* fournie par le phénomène Peltier;

2° La *différence de potentiel vraie,* fournie par les phénomènes électrocapillaires;

3° La *différence de potentiel apparente,* fournie par l'étude des condensateurs;

4° La grandeur donnée par la théorie de M. Nernst sous le nom de *différence de potentiel au contact,* qui est aussi bien définie, mais qui ne peut être confondue *a priori* avec la différence de potentiel vraie.

Remarque au sujet des couches électriques doubles.

(*Journ. de Phys.*, 2[e] série, t. II, 1883, p. 116.)

Pour expliquer la différence de potentiel de deux corps conducteurs de nature différente en contact, M. Helmholtz a admis, à titre d'hypothèse, l'existence, de part et d'autre de la surface de séparation, de deux couches électriques en regard, l'une positive, l'autre négative.

Je fais remarquer dans cet article que *cette couche électrique double* est non une hypothèse, mais une conséquence nécessaire de l'existence de la différence de potentiel. Je montre, en effet, que, d'après les lois de Coulomb, il ne peut y avoir une différence de potentiel entre deux corps au contact sans couche électrique double et que, réciproquement, la présence d'une couche électrique double entraîne une différence de potentiel entre les deux conducteurs au contact.

Sur la valeur de la pression électrique.

(*Bulletin de la Société philomathique*, 7[e] série, t. V, 1880, p. 39.)

En me fondant sur le théorème de Gauss relatif au flux de forces à travers une surface fermée, je donne une démonstration rigoureuse de la formule de Thomson ($\tau = 2\pi\mu^2$), qui lie la pression électrique (τ) à la densité superficielle (μ). Je considère l'épaisseur de la couche électrique répandue à la surface d'un conducteur comme finie (elle ne saurait être infiniment mince), mais je ne fais aucune hypothèse sur la distribution de l'électricité à l'intérieur de cette couche.

Théorème sur les écrans électriques.

(*Bulletin de la Société philomathique*, 7[e] série, t. V, 1881, p. 130.)

Le théorème dont je donne la démonstration est le suivant :

Si une surface fermée est telle que le potentiel de tous ses points augmente ou diminue à la fois d'une même quantité (a) *(de façon que la différence de potentiel de deux points reste constante), le potentiel de tout point situé à l'intérieur de la surface augmentera ou diminuera de la même quantité* (a), *et les phénomènes électriques qui peuvent se*

produire à l'intérieur de la surface sont complètement soustraits à l'influence des phénomènes extérieurs.

Il en résulte immédiatement qu'une surface conductrice fermée, homogène ou hétérogène, est un écran électrique parfait pour les phénomènes d'équilibre électrique, puisque, dans l'état d'équilibre, la différence de potentiel de deux points de la surface reste toujours la même.

Sur la cause de l'électrisation des nuages orageux.

(*Journ. de Phys.*, 2e série, t. IV, 1885, p. 18.)

(Ce Mémoire a été complété dans le Recueil de *Mémoires publiés par la Société philomathique à l'occasion de son centenaire*, 1898, p. 91; les deux Parties sont réunies dans les *Leçons sur l'Électricité faites à la Sorbonne en* 1888-89, p. 247.)

J'ai pu rendre compte de l'électrisation des nuages orageux, sans avoir recours aux hypothèses souvent très hasardées par lesquelles quelques auteurs ont essayé d'expliquer les orages, en invoquant simplement les phénomènes d'influence que la charge électrique du sol doit produire sur les nuages. Ces phénomènes d'influence, qui ont lieu nécessairement, suffisent, comme je le montre par des nombres, à expliquer l'immense longueur des étincelles électriques qui constituent les éclairs, ainsi que l'énergie des coups de foudre. Enfin, cette explication fait voir que les phénomènes orageux ne peuvent se produire que quand l'air est agité par un tourbillon. (Ce complément ne se trouve pas dans le premier Mémoire publié en 1885 à ce sujet.)

Voici un aperçu de cette explication :

On sait que par le beau temps le potentiel augmente quand on s'élève dans l'atmosphère à partir du sol, d'où l'on conclut que celui-ci est couvert d'une couche d'électricité négative. C'est presque toujours l'inverse par la pluie. Mais la moyenne annuelle des charges positives et négatives du sol en un même endroit est toujours une charge négative; suivant la remarque de sir W. Thomson, la Terre est un globe électrisé négativement à sa surface. Plusieurs causes tendent à transporter une portion de cette électricité négative dans les couches d'air voisines du sol; mais celui-ci ne saurait perdre complètement sa charge négative, car la pluie a pour effet de ramener cette charge au sol, la pesanteur triomphant de la répulsion électrique.

Quand un nuage se forme dans un ciel primitivement serein, il est électrisé par l'influence de la charge du sol et par celle des couches d'air, posi-

tivement en bas, négativement en haut. Si un tourbillon saisit ce nuage, la partie inférieure peut être détachée de la partie supérieure; à cause des mouvements verticaux des masses d'air qui accompagnent nécessairement le mouvement tourbillonnaire (si bien mis en évidence par les belles expériences de M. Wehyer), la partie inférieure du nuage monte, la partie supérieure descend, et les potentiels des parties séparées, primitivement égaux, deviennent de plus en plus différents; si la somme des dénivellations des deux nuages est de 1000^m, la différence de potentiel peut être de 1000 unités électrostatiques C. G. S. C'est plus qu'il n'en faut pour qu'une immense étincelle éclate entre eux (la longueur de l'étincelle paraissant tendre vers l'infini pour une différence de potentiel finie, d'après les expériences de M. Mascart). En outre, le quantité d'électricité qui s'écoule dans une pareille décharge est colossale, comme le montre le calcul, et serait bien loin de pouvoir être obtenue en chargeant à refus les batteries électriques de tous les cabinets de physique.

Il va sans dire que, si le nuage se forme au milieu d'autres nuages déjà électrisés, le phénomène d'influence sera beaucoup plus compliqué que dans le cas simple que nous venons d'examiner; mais on conçoit bien que les effets seront du même ordre de grandeur.

On voit que, s'il y a d'autres facteurs contribuant à la charge des nuages orageux, le phénomène d'influence produit par le sol restera toujours un des facteurs principaux, puisqu'il s'impose et à lui seul suffit à tout expliquer.

Applications du principe de Carnot aux réactions endothermiques.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CVII, 1888, p. 34. — *Journal de Physique*, 2e série, t. VII, 1888, p. 279. — *Bulletin de la Société philomathique*, 7e série, t. XII, 1888, p. 98.)

M. Potier, en appliquant aux actions chimiques l'inégalité de Clausius $\left(\int \frac{dq}{T} < 0\right)$, a montré qu'une réaction endothermique n'est possible que si la température des corps réagissants est supérieure à celle où la réaction devient réversible (température de dissociation ou d'antidissociation).

M. Potier suppose, du reste, que la température des corps réagissants est la même que celle des sources qui fournissent la chaleur.

J'ai distingué la température t des corps qui donnent lieu à la réaction endothermique de la température T de la source A qui fournit, sous forme

de chaleur par rayonnement ou par conductibilité, toute l'énergie nécessaire à cette réaction. T ne peut pas être inférieur à t, mais il peut lui être supérieur, et même très supérieur si la source A agit par rayonnement. En faisant cette distinction, le principe de Carnot m'a conduit à une loi analogue à celle de M. Potier, mais plus générale.

Désignons par T_1 la plus basse température à laquelle la réaction inverse se produit spontanément, par exemple la température à laquelle il faut porter le chlorure d'azote pour le faire détoner si la réaction endothermique est la formation du chlorure d'azote, ou celle à laquelle le mélange d'oxygène et d'hydrogène fait explosion si la réaction endothermique est la décomposition de l'eau. La loi est la suivante :

1° *La température* T *de la source* A *ne peut être inférieure à* T_1.

2° *Si la température* t *des corps réagissants est inférieure à* T_1, *la température* T *de la source* A *doit être d'autant plus élevée au-dessus de* T_1 *que la réaction considérée est plus fortement endothermique.*

Dans la plupart des expériences de laboratoire, la source calorifique est constituée par les parois des vases qui renferment les substances réagissantes; la température de la source est donc très voisine de celle des corps qui entrent en réaction. Dans ce cas, qui est celui où s'est placé M. Potier, la loi qui vient d'être énoncée indique que la température du corps doit être supérieure à T_1, pour que la réaction endothermique se produise, et, par conséquent, que la réaction doit être limitée par la réaction inverse : la température doit être supérieure à celle de la dissociation (ou de l'antidissociation). On retrouve ainsi la loi de M. Potier comme cas particulier de la loi énoncée ci-dessus.

Cela nous montre l'impossibilité d'effectuer des réactions endothermiques dans des vases opaques aux basses températures ($< T_1$). Mais cette impossibilité n'existe plus si l'on fait agir par rayonnement une source à une température élevée, ce qu'on exprime habituellement en disant que c'est la *lumière* qui a accompli la réaction. Ainsi, l'acide carbonique de l'air est décomposé à la température ordinaire par les parties vertes des végétaux, et le carbone s'unit aux éléments de l'eau; c'est là une réaction fortement endothermique; aussi n'est-elle possible que par le rayonnement d'une source à température élevée : le Soleil habituellement. La loi énoncée permet d'affirmer (si toutefois le principe de Carnot reste exact pour les transformations accomplies chez les êtres vivants) que l'action chlorophyllienne ne peut avoir lieu que sous l'influence d'une source à

température notablement plus élevée que celle où les produits végétaux commencent à prendre feu.

Plus la température d'une source est élevée, plus son spectre s'étend loin du côté de l'ultra-violet. Sans prétendre expliquer complètement par le principe de Carnot l'efficacité bien connue des réactions très réfrangibles pour effectuer certaines combinaisons ou décompositions, je ferai remarquer pourtant que quelques réactions endothermiques pourront être effectuées par des radiations très réfrangibles, tandis qu'elles ne pourront pas l'être, d'après la loi, par des radiations moins réfrangibles, parce que celles-ci peuvent être émises par des sources à température trop basse.

Il est remarquable de voir que la chlorophylle ne présente aucune bande d'absorption dans l'infra-rouge ni même dans le rouge, et, par conséquent, qu'une source à la température du rouge sombre ou au-dessous ne peut pas produire l'action chlorophyllienne, ce qui est pleinement d'accord avec la loi déduite du principe de Carnot.

Réflexions au sujet de l'Univers et des lois naturelles.

(*Journal de Physique*, 3e série, t. X, 1901, p. 277.)

Les conséquences de la dégradation de l'énergie dans un système isolé, indiquées par lord Kelvin et développées surtout par Helmholtz, sont aujourd'hui bien connues et, en quelque sorte, classiques. Appliquées à l'Univers considéré comme un système fini en matière et, par conséquent, en énergie, ces considérations font prévoir la fin du monde vivant, dans le sens habituel du mot.

J'ai montré que des considérations tout à fait analogues établissent, toujours dans l'hypothèse où l'Univers serait fini en matière et en énergie, qu'il n'a pu exister de tout temps avec les lois naturelles que nous connaissons aujourd'hui, la modification à ces lois ayant eu lieu à une époque séparée de nos jours par un temps fini.

Mais remarquons qu'on peut échapper à ces deux conséquences, aussi bien à celle indiquée par lord Kelvin qu'à celle que je viens d'indiquer, en supposant que l'Univers est un espace infini rempli par une quantité de matière infinie aussi, ce qui est fort vraisemblable.

En résumé, il résulte de ces considérations que, *si l'Univers est infini dans le temps, il est aussi infini dans l'espace.*

Méthode permettant d'évaluer en valeur absolue les très basses températures.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXXIII, 1901, p. 921.)

Les travaux de plus en plus nombreux aux très basses températures font désirer qu'on puisse mesurer celles-ci sur l'échelle absolue. Le thermomètre à hydrogène cesse de donner la valeur absolue de la température avec exactitude au-dessous de — 100° et ne peut plus même fournir une indication grossière aux plus basses températures qu'on a obtenues.

J'ai pensé que le phénomène Peltier permettrait d'obtenir en valeur absolue une température quelconque, même très basse. Dans une Note, j'ai indiqué la méthode et les moyens de la mettre en œuvre. Absorbé par des recherches plus importantes, je n'ai pas encore eu le temps de l'essayer.

Variation de la tension superficielle d'un liquide avec la température.

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXVIII, 1894, p. 1193.)

En m'appuyant sur les principes de la Thermodynamique et sur le fait d'expérience que la tension superficielle d'un liquide décroît quand la température s'élève, je montre que :

Pour accroître la surface libre d'un liquide en contact avec sa vapeur saturante, tout en maintenant constante la température, il faut lui fournir de la chaleur.

En outre, si l'on fait l'hypothèse très vraisemblable *a priori* et justifiée *a posteriori* que la capacité calorifique d'une masse liquide ne dépend pas de l'étendue de sa surface, je montre que :

La tension superficielle doit être une fonction linéaire de la température thermodynamique;

A la condition toutefois que l'échauffement du liquide soit un phénomène réversible, ce qui n'a plus lieu si le liquide est le siège d'une réaction chimique non réversible.

Ces conclusions sont pleinement d'accord avec les expériences de MM. Ramsay et Schields.

De la définition et de la détermination du point critique.

(*Journal de Physique*, 3ᵉ série, t. I, 1892, p. 225.)

Dans cet article, je distingue le point critique défini par les courbes d'Andrews du point où le ménisque disparaît dans un tube de Natterer. Je montre que, si la température *uniforme* d'un de ces tubes augmente progressivement, ou bien le niveau du liquide doit monter jusqu'au sommet du tube, celui-ci se remplissant entièrement de liquide avant que la température critique soit atteinte, ou bien le niveau doit descendre jusqu'au bas du tube, tout l'espace étant occupé par la vapeur. Si l'on ne voit pas ce phénomène quand la masse de la substance placée dans le tube est voisine de la masse critique qui peut le remplir entièrement, c'est que le niveau cesse d'être visible lorsque les indices de réfraction du liquide et de sa vapeur sont suffisamment voisins. La disparition du *niveau vrai* doit donc se faire au-dessous de la température critique.

Ceci est bien d'accord avec les récentes expériences de M. P. Villard qui ont montré que, si l'on ne prend pas de très grandes précautions pour rendre la température uniforme dans les tubes de Natterer, il s'établit un excès de température dans le haut du tube; il résulte de la différence de température une différence d'indice entre la vapeur du bas et la vapeur du haut simulant un *faux niveau*, qui persiste au delà de la température critique, tandis que le vrai niveau est descendu d'une façon invisible jusqu'au bas du tube.

Remarque sur la chaleur spécifique des vapeurs.

(*Journ. de Phys.*, 1ʳᵉ série, t. VII, 1878, p. 117.)

Dans ce petit Mémoire, je montre que la chaleur spécifique sous pression constante d'une vapeur doit dépendre de la pression, tandis que, d'après les expériences de Regnault, la chaleur spécifique serait indépendante de la pression pour les gaz loin de leur point de liquéfaction.

Je montre ensuite que la détermination de la chaleur spécifique à pression constante et celle du volume spécifique d'une vapeur en fonction de la température et de la pression, déterminations qui ne paraissent pas devoir offrir de grandes difficultés, suffiraient pour avoir toutes les données nécessaires à l'étude thermique des vapeurs.

2° Optique.

Sur la transformation que subissent les formules de Cauchy relatives à la réflexion de la lumière à la surface d'un corps transparent quand on suppose une épaisseur sensible à la couche de transition.

(*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. LXXXVI, 1878, p. 1325.)

Fresnel et Cauchy, en établissant les formules relatives à la réflexion vitreuse, ont supposé que l'éther varie brusquement de propriété à la surface de séparation des deux milieux transparents. En réalité, le changement de propriété doit être graduel. J'ai examiné comment les formules qui donnent la proportion de lumière réfléchie et réfractée se trouvent modifiées quand on tient compte de ce changement graduel dans les propriétés, en me bornant au cas simple où les vibrations sont perpendiculaires au plan d'incidence. Je suis arrivé aux formules suivantes :

$$C_1 = -C\frac{\sin(\alpha_1-\alpha_2)}{\sin(\alpha_1+\alpha_2)}\left[1-\left(\frac{\varepsilon}{\lambda_1}\right)^2\frac{\pi^2}{3}\,\frac{2\sin\alpha_1\cos\alpha_1\cos\alpha_2}{\sin\alpha_2}\right],$$

$$C' = C\frac{2\cos\alpha_1\sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1+\alpha_2)}\left[1+\left(\frac{\varepsilon}{\lambda_1}\right)^2\frac{\pi^2}{6}\,\frac{\sin^2(\alpha_1-\alpha_2)}{\sin^2\alpha_2}\right],$$

où C, C_1, C' représentant les amplitudes de la vibration incidente, réfléchie et réfractée, α_1 et α_2 les angles d'incidence et de réfraction, ε l'épaisseur de la couche où les propriétés de l'éther sont variables (*couche de transition*), cette épaisseur étant définie rigoureusement, et λ_1 la longueur d'onde dans le premier milieu.

Ces formules se réduisent à celles de Fresnel ou de Cauchy, en y faisant $\varepsilon = 0$; elles satisfont au principe de la conservation de l'énergie, sur lequel je ne me suis pas appuyé pour les établir.

Elles montrent que, si l'épaisseur ε de la couche de transition était une fraction notable de la longueur d'onde λ_1, la lumière, blanche à l'incidence, deviendrait colorée par réflexion.

A l'aide de l'appareil pour opérer la synthèse des couleurs composées, que j'ai imaginé à cette occasion et qui est décrit plus haut, j'ai réalisé les teintes qui seraient obtenues par réflexion pour des valeurs de plus en plus faibles de $\left(\frac{\varepsilon}{\lambda_1}\right)$ d'après la formule ci-dessus. A partir de $\frac{\varepsilon}{\lambda_1} = \frac{1}{16}$, la teinte réfléchie ne diffère pas sensiblement du blanc, mais elle en diffère pour des valeurs plus considérables. Il faut en conclure que l'épaisseur de la couche de transition est inférieure à $\frac{1}{16}$ de longueur d'onde.

Renversement des raies spectrales. — Méthode pour déterminer la température du Soleil.

(*Bulletin de la Société philomathique*, 7e série, t. XI, 1887.)

Une tranche gazeuse incandescente d'épaisseur dx, étant traversée normalement par un faisceau lumineux ayant l'unité de section, absorbe une portion d'une lumière simple de ce faisceau qui peut être représentée par $\mathrm{AD}i\,dx$, D étant la densité du gaz, i l'intensité de la radiation incidente considérée et A un coefficient que j'appelle le *pouvoir absorbant spécifique*.

D'autre part, cette tranche émet par unité de section une quantité de la lumière simple à laquelle se reporte A, qui peut être représentée par $\mathrm{EDT}^4\,dx$, T étant la température absolue et E un coefficient qui peut dépendre de la température, et que j'appelle le *pouvoir émissif spécifique*.

Si la tranche a une épaisseur finie x et reçoit une lumière simple d'intensité i_0, on trouve aisément que l'intensité de cette lumière à l'émergence est représentée par

$$i = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}\mathrm{T}^4 + \left(i_0 - \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}\mathrm{T}^4\right)e^{-\mathrm{AD}x}.$$

La considération de l'équilibre mobile des températures montre que le rapport $\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}$ du pouvoir émissif spécifique au pouvoir absorbant spécifique est une quantité qui ne dépend pas de la nature du gaz considéré. Il devient bien vraisemblable alors que cette quantité $\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}$ est, pour un même gaz, indépendante de la radiation considérée. Or, si la tranche a une épaisseur infinie, la formule ci-dessus montre que l'on a $i = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}\mathrm{T}^4$; par conséquent, si $\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{A}}$ est indépendant de la nature de la radiation, on aura la même intensité i pour toutes les radiations; c'est-à-dire que le spectre d'une source gazeuse d'épaisseur infinie serait continu comme celui d'un corps solide, les raies caractéristiques ayant disparu. C'est bien ce que quelques auteurs ont cru pouvoir avancer d'après leurs expériences sur l'élargissement des raies spectrales.

Il résulte encore de la formule qu'une tranche gazeuse d'épaisseur finie, étant éclairée par de la lumière blanche, donnera à l'émergence un faisceau lumineux qui présentera les raies caractéristiques du gaz, en brillant sur fond sombre ou en sombre sur fond brillant, suivant que l'intensité de la lumière blanche incidente est inférieure ou supérieure à l'intensité lumi-

neuse que donnerait la tranche gazeuse si son épaisseur était infinie. En faisant varier l'intensité de la lumière incidente de façon que le faisceau émergeant ne présente ni en sombre ni en brillant les raies caractéristiques, celle-ci est égale à l'intensité $\left(\frac{E}{A}T^{s}\right)$ qu'émettrait la tranche gazeuse si son épaisseur était infinie. La mesure de la variation de $\frac{E}{A}$ avec la température est ainsi ramenée à une mesure ordinaire de Photométrie.

En admettant, comme cela paraît probable, que la partie éclairante du Soleil est formée principalement par des gaz incandescents (la faible densité de cet astre exclut l'idée d'une masse solide ou liquide continue), on peut, d'après ce qui précède, arriver à connaître la température du Soleil. Celle-ci est égale à la température d'une flamme qu'on rendrait assez chaude pour que les raies caractéristiques du gaz qui constitue la flamme n'apparaissent plus en sombre sur fond brillant dans la lumière émergente, quand la lumière incidente est un faisceau de rayons solaires.

Si l'on ne peut pratiquement élever assez la température de la flamme pour arriver à ce résultat, un procédé un peu moins direct, qui est développé dans le Mémoire, permet aussi d'arriver au même but.

Théorie du phénomène de l'aberration dans le cas d'une lunette pleine d'eau.

(Journal de Physique, t. IV, 3ᵉ série, 1895, p. 21.)

En m'appuyant sur les formules de l'entraînement de l'éther, j'explique d'une façon simple et rigoureuse comment la mesure de l'aberration astronomique doit fournir le même résultat dans le cas d'une lunette pleine d'eau ou dans celui d'une lunette pleine d'air, comme l'ont trouvé les astronomes de Greenwich. Les explications données jusqu'alors de ce phénomène étaient un peu vagues.

(Depuis la publication de cet article, j'ai constaté que M. H. Poincaré, dans son *Cours d'Optique* publié auparavant, s'était précisément appuyé sur le résultat obtenu par les astronomes de Greenwich pour établir les formules de l'entraînement de l'éther.)

OUVRAGES.

Leçons sur l'Électricité faites à la Sorbonne en 1888-89.

(1 vol. in-8. G. Carré, éditeur.)

Dans ces Leçons, je me suis attaché à mettre en relief le nombre relativement petit des connaissances concernant l'Électricité, que nous ne pouvons acquérir que par l'expérience, et qui constituent les lois fondamentales; les autres connaissances importantes ont été déduites ensuite de ces lois fondamentales par le raisonnement, aidé le plus souvent de l'analyse mathématique; mais celle-ci a été rendue aussi simple qu'il m'a été possible de le faire sans compromettre la rigueur du raisonnement. Les vérifications expérimentales, toutes les fois qu'elles sont possibles, accompagnent toujours les déductions théoriques.

Tant qu'on conservera en Physique la notion de force, il sera impossible d'expliquer les phénomènes électriques en ne tenant compte que des forces électriques obéissant aux lois de Coulomb. Outre ces forces (*électro-électriques*), il faut nécessairement introduire l'action qu'exerce la matière pondérable sur l'électricité (forces *pondéro-électriques*). Si cette action n'existait pas, nous ne pourrions ni conserver l'électricité sur un corps, ni même développer l'état d'électrisation. Je me suis attaché dans ces Leçons à faire ressortir le rôle des forces pondéro-électriques, et j'ai dû, pour plus de rigueur, modifier l'énoncé et la démonstration de plusieurs théorèmes afin d'en tenir compte.

Outre les deux théorèmes indiqués plus haut (p. 40), il existe dans cet Ouvrage quelques autres théorèmes nouveaux au moins par la forme de la démonstration (propriétés des lignes de force dans un milieu non électrisé, théorème de l'équilibre électrique, conditions pour qu'une fonction représente le potentiel, etc.).

Cours d'Électricité.

(3 vol. in-8. Gauthier-Villars, éditeur.)

Cet Ouvrage est la reproduction, avec quelques compléments, du Cours d'Électricité que j'ai fait à la Sorbonne de 1898 à 1902. Il est divisé en trois parties : la première comprend l'Électrostatique, les lois d'Ohm et la Thermo-électricité; la deuxième, l'Électrodynamique, le Magnétisme et

l'Induction ; la troisième, l'Électrolyse, l'Électrocapillarité et les questions qui s'y rattachent. (La première seule de ces trois parties a paru, les autres étant en préparation.)

L'Ouvrage a principalement pour but de montrer comment on peut établir solidement les lois fondamentales d'une des plus belles parties de la Science et d'en tirer les principales conséquences.

Bien souvent je me suis écarté de la marche habituellement suivie ; en particulier, l'Électrostatique a été exposée d'après la méthode entièrement nouvelle que j'ai indiquée dans mon Mémoire *Sur l'Électrostatique non fondée sur les lois de Coulomb ;* elle diffère donc totalement de celle de l'Ouvrage précédent quant au moyen d'établir les lois. Contrairement à l'usage, j'ai placé l'Électrodynamique avant le Magnétisme ; j'ai pu mieux montrer ainsi sous son véritable jour la notion de Magnétisme, qui est un intermédiaire mathématique très commode, mais qui n'a aucune réalité physique.

Du reste, pour faciliter l'étude de l'Électricité à un plus grand nombre de personnes, j'ai cherché les démonstrations les plus simples ; elles n'exigent presque toujours que les principes élémentaires du calcul infinitésimal.

Thermodynamique.

Cours professé à la Sorbonne en 1895-1896 (1 vol. in-8°. G. Carré, éditeur).

Il y a bien des manières différentes de présenter les principes de la Thermodynamique. Dans mon Cours, j'ai pris comme principes fondamentaux les propositions qui sont le plus directement vérifiées par l'expérience : le principe de l'équivalence et le principe de Carnot sont de véritables lois physiques que l'expérience établit directement ; les propositions que j'ai désignées sous le nom de *principe de l'énergie* et *principe de l'entropie* en sont la généralisation.

J'ai cru bon d'indiquer explicitement dans les énoncés des principes certaines restrictions qui sont souvent sous-entendues, ce qui risque de produire une confusion dans l'esprit des élèves et de les amener à faire des applications erronées.

Pour établir en toute généralité le théorème de Clausius, j'ai employé la marche si simple et si précise due à M. Potier.

Enfin, j'ai développé particulièrement les applications de la Thermodynamique aux phénomènes qui ne sont pas de nature réversible, en montrant

comment ses principes permettent de trouver le sens dans lequel un phénomène, une réaction chimique par exemple, peut se produire. J'ai donné à cet égard deux théorèmes qui facilitent les applications. J'avais déjà publié ailleurs l'un d'eux; l'autre est le développement d'un théorème indiqué par M. Potier.

Polarisation et optique cristalline.

Cours professé à la Sorbonne en 1895 (1 vol. in-8°. G. Carré, éditeur).

Cet Ouvrage n'a eu d'autre but que de présenter, le plus clairement qu'il m'a été possible de le faire, les travaux de Fresnel et de ses successeurs aux élèves de la licence et aux élèves de l'agrégation des Sciences physiques.

Cours de Physique à l'usage des élèves de la classe de Mathématiques spéciales.

(2 vol. in-8°. P. Dupont, éditeur.)

Cours de Physique à l'usage des élèves de la classe de Mathématiques élémentaires.

(1 vol. in-8°. P Dupont, éditeur.)

Ces deux Ouvrages ont eu principalement pour but d'introduire dans l'enseignement des lycées quelques-unes de ces notions récentes qui rendent de si grands services aux physiciens (énergie, potentiel, flux de forces, etc.), et de montrer qu'on pouvait le faire d'une façon élémentaire quoique rigoureuse.

Les étalons électriques.

(Rapport pour le Congrès international des électriciens de 1889.)

Rapport du Jury international de la Classe 15 (Instruments de précision) à l'Exposition universelle de 1900.

TABLE DES MATIÈRES.

4° Expériences et mesures diverses concernant l'électricité.

RECHERCHES AYANT POUR BUT L'ÉVALUATION D'UNE GRANDEUR IMPORTANTE.

APPAREILS.

RECHERCHES THÉORIQUES.

1° Électricité et Thermodynamique.

2° Optique.

OUVRAGES.

31883 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

COMPLÉMENT DE LA NOTICE SUR LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

de M. Henri PELLAT

Professeur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.

(*Travaux publiés depuis juillet* 1902.)

Étude de la Magnétofriction du faisceau anodique.
(C. R. T. CXXXV, p. 1321 ; 1902.)

Lorsque la colonne anodique d'un tube de Geissler est placée perpendiculairement aux lignes de force d'un champ magnétique intense, la décharge éprouve une grande difficulté à couper les lignes de force du champ magnétique: la différence de potentiel nécessaire au passage de la décharge devient énorme, le tube s'échauffe considérablement dans la région soumise à l'action du champ magnétique, la luminosité du gaz, au lieu de continuer à s'amincir le long de la paroi, comme dans les champs faibles, devient diffuse, et la diffusion envahit toute la section du tube pour les champs très intenses. Tels sont les phénomènes que j'ai déjà signalés; ils ressemblent aux phénomènes que produirait un frottement exercé par le champ sur le flux qui constitue la colonne anodique, d'où le nom de *magnétofriction* que j'ai proposé pour rappeler cette apparence (1).

Dans cette note, je publie les recherches que j'ai faites sur ce curieux phénomène. J'ai constaté que la diffusion commence à apparaître pour des champs magnétiques d'autant plus faibles que la pression du gaz est elle-même plus faible. Mais il y a une très grande différence entre l'intensité du champ où la diffusion commence à apparaître pour l'hydrogène et celle où elle commence à apparaître pour les gaz plus denses (azote, oxygène), cette dernière intensité étant bien plus considérable à pression égale : l'hydrogène subit beaucoup plus facilement la magnétofriction que l'azote ou l'oxygène.

(1) Depuis, M. Villard a montré que le flux n'éprouve aucun frottement réel : l'explication de la magnétofriction reste encore à trouver.

Du rôle des corpuscules dans la formation de la colonne anodique des tubes à gaz raréfiés. (C. R., t. CXXXVIII, p. 476; 1904. — *Journal de Physique*, 4[e] série, t. III, p. 434.)

Dans ce mémoire, je montre que la luminosité qui constitue la colonne anodique des tubes de Geissler étant placée dans un champ magnétique faible prend une forme qui est exactement celle que la théorie assigne à la marche des corpuscules et n'a aucun rapport avec la trajectoire des ions positifs: c'est donc bien le mouvement des corpuscules qui produit la luminosité connue sous le nom de colonne anodique, comme l'avait admis J.-J. Thomson, mais sans en fournir de preuve expérimentale. Dans ce mémoire se trouvent en regard les courbes théoriques et la reproduction des photographies de la colonne anodique déviée par le champ magnétique. L'aspect de la colonne anodique aux endroits où le tube sort du champ magnétique conduit, sans calcul, à la même conclusion : on voit que les particules en mouvement qui donnent naissance à la colonne anodique vont de la cathode à l'anode et, par conséquent, sont chargées négativement.

Explication des colorations diverses que présente un même tube à gaz raréfié. (C. R., t. CXXVIII, p. 1206; 1904.)

Tout le monde a été frappé de la couleur différente que présente un tube de Geissler à air ou à azote dans la partie qui entoure la cathode (*gaine cathodique*), qui est d'un bleu violet, et dans la colonne anodique, qui est d'un rose orangé. D'autres gaz présentent des différences analogues, l'oxygène en particulier. Ce phénomène n'avait jamais été expliqué. J'en donne dans cette note une explication fort simple. Au point de vue spectroscopique, les deux spectres ne diffèrent que par la différence d'intensité relative de certaines raies. Or, j'ai montré que toutes les fois que les corpuscules, qui produisent par leur choc contre les molécules la luminosité, frappent celles-ci avec une grande vitesse, dans la colonne anodique, cette colonne prend une couleur qui se rapproche de celle de la gaine cathodique. En modifiant et en simplifiant sur ce point la théorie de J.-J. Thomson, j'explique la coloration de la gaine cathodique par l'énorme vitesse des corpuscules au moment du choc, ce qui est bien conforme à ce qu'on peut prévoir d'après la grandeur du champ électrique au voisinage de la cathode.

La théorie de J.-J. Thomson, ainsi modifiée, rend compte de toutes les apparences, si variées, que présentent les tubes à gaz raréfiés traversés par une décharge, soit dans les champs magnétiques faibles, soit en dehors du champ magnétique.

Action d'un champ magnétique sur les rayons de Goldstein (Kanalstrahlen). (C. R., t. CXLI, p. 1008; 1905.)

Dans cette note, je signale certaines apparences assez paradoxales qui se produisent pour les tubes à rayons de Goldstein quand ils sont placés dans un champ magnétique d'intensité convenable, en particulier une diffusion se produisant dans les champs intenses et rappelant la diffusion qu'éprouve dans les mêmes conditions la colonne anodique.

De la température absolue déduite du thermomètre normal. (C. R., t. CXXXVI, p. 809; 1903.)

En considérant l'hydrogène comme un gaz parfait, on démontre que la température absolue T est liée à la température t indiquée par le thermomètre normal par la relation $T = t + \frac{1}{\alpha}$, où α est le coefficient d'augmentation de pression de l'hydrogène à volume constant. Mais, l'hydrogène n'étant pas un gaz parfait, quelle est l'erreur commise en employant cette relation?

En m'appuyant sur les principes de la thermodynamique, je montre que la température t donnée par un thermomètre à volume constant, mais contenant un gaz quelconque, est reliée à la température absolue T par la relation

$$T = t + \frac{1+K}{\alpha}$$

où K est la valeur moyenne entre 0° et $t°$ du quotient $\frac{dU_i}{pdv}$ de l'accroissement d'énergie dU_i qu'éprouve une masse gazeuse en se détendant à température constante au travail pdv qu'elle effectue; K représente l'écart à la loi de Joule. On voit par là que, K et α étant relatifs à la valeur moyenne entre 0° et 100°, $\frac{1+K}{\alpha}$ est une même constante pour tous les gaz : les gaz qui s'écartent le plus de la loi de Joule (K le plus grand) sont ceux pour lesquels le coefficient d'augmentation de pression à volume constant α est le plus grand.

En cherchant d'après l'équation caractéristique de l'hydrogène (Van der Waals, Amagat) l'expression de K en fonction de la température T, on trouve $K = \frac{A}{T}$; on en déduit

$$T = t + \frac{1}{\alpha} + A = t + \frac{1}{\alpha} + 0°{,}11.$$

La température absolue est supérieure à la valeur admise de 0°11

Détermination de l'équivalent électrochimique de l'argent.
(En commun avec M. Leduc. C. R., t. CXXXVI, p. 1649; 1903.)

Le soin extrême avec lequel M. Leduc avait étudié les causes d'erreur qui peuvent se présenter dans l'électrolyse de l'argent nous a engagé à faire une nouvelle détermination de l'équivalent électrochimique de ce métal. La méthode employée pour la mesure de l'intensité du courant a été la même que dans la détermination que j'avais faite antérieurement en collaboration avec M. Potier: c'est mon électrodynamométre absolu qui a servi de point de départ pour cette mesure. Mais la durée du passage du courant a été plus longue et les courants plus intenses, de façon à avoir une masse d'argent beaucoup plus grande (de 8^{g},3 à 12^{g},4).

Les résultats ont été à trés peu prés les mêmes que dans les expériences faites en collaboration avec M. Potier.

Loi de Maxwell-Bartoli. (*Journal de Physique*, 4e série, t. II, p. 484; 1903.)

On sait que Maxwell a déduit de sa théorie électromagnétique de la lumiére qu'un faisceau lumineux en tombant sur une surface produit sur elle une légére pression. Bartoli et ensuite Boltzmann sont arrivés au même résultat en s'appuyant uniquement sur les principes de là thermodynamique. Mais leur raisonnement, qui est à peu prés le même, est assez bizarre et peut laisser subsister quelque doute sur sa légitimité. Dans cet article je donne une démonstration rigoureuse et assez simple fondée sur les lois de la thermodynamique de l'existence et de la valeur de cette pression, à laquelle on fait jouer aujourd'hui un assez grand rôle dans certains phénoménes cosmiques. Je montre aussi la relation qui existe entre la loi de Maxwell-Bartoli et la loi dé Stefan sur le rayonnement des corps noirs, relation déjà indiquée par Boltzmann du reste.

Formation des images par les réseaux. (*Journal de Physique*, 4e série, t. III, p. 611; 1904.)

Dans cet article j'appelle l'attention sur les images fournies par les réseaux des sources lumineuses étendues, trop négligées dans l'enseignement, et je donne une théorie très simple de ces images multiples.

1428. — Lib.-Imp. réunies, 7, rue Saint-Benoît, Paris.